

**DE19829612**

**Title:**  
**Beleuchtungssystem der Mikrolithographie mit Depolarisator**

**Abstract:**

The invention relates to a lighting system for microlithography, comprising an excimer laser (1) with an emission wavelength, a beam expanding system (2), a light mixer system (5) and an illumination plane. In said system an optical element (DP) made of a double refracting material is arranged in a light beam cross-section (for example a Hanle depolarizer) and the thickness of said element varies across the light beam cross-section by a multiple of the emission wavelength. At least one light mixer system (A1, L1, 5) is positioned downstream of the optical element.



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 29 612 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 03 F 7/20**

⑳ Aktenzeichen: 198 29 612.6  
㉔ Anmeldetag: 2. 7. 1998  
㉕ Offenlegungstag: 5. 1. 2000

DE 198 29 612 A 1

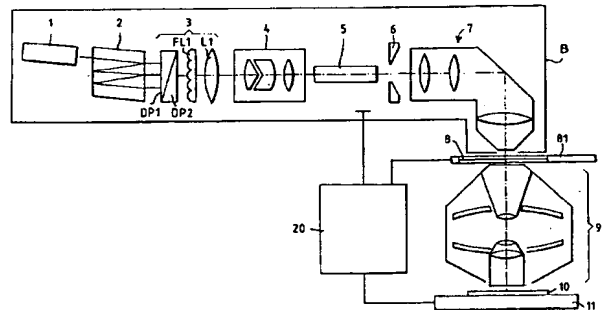
㉑ Anmelder:  
Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

㉒ Erfinder:  
Maul, Manfred, Dr., 73434 Aalen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

㉔ Beleuchtungssystem der Mikrolithographie mit Depolarisator

㉕ Beleuchtungssystem der Mikrolithographie, mit einem Excimer-Laser (1) mit einer Emissionswellenlänge, einem Strahlenaufweitungssystem (2), einem Lichtmischsystem (5) und einer Beleuchtungsebene, wobei ein optisches Element (DP) aus doppelbrechendem Material in einem Lichtbündelquerschnitt angeordnet ist (z. B. Hanle-Depolarisator), dessen Dicke über den Lichtbündelquerschnitt um ein Vielfaches der Emissionswellenlänge variiert und wobei dem optischen Element mindestens ein Lichtmischsystem (A1, L1, 5) nachgeordnet ist.



DE 198 29 612 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem der Mikrolithographie mit einem Excimer-Laser mit einer Emissionswellenlänge, einem Strahlaufweitungssystem, einem Lichtmischsystem und einer Beleuchtungsebene.

Derartige Beleuchtungssysteme sind in der DUV-Mikrolithographie mit 248 nm, 193 nm und 157 nm Wellenlänge bekannt. Beispiele sind u. a. in EP 0 747 772 A beschrieben.

Daneben betrifft sie eine Projektionsbelichtungsanlage nach dem Oberbegriff des Anspruchs 7.

Vorgesehen ist die Verwendung eines Pseudo-Depolarisators in einem derartigen Beleuchtungssystem. Der Begriff Pseudo-Depolarisator verdeutlicht, daß diese Elemente die Polarisation nicht wirklich aufheben, sondern nur über den Querschnitt des Lichtbündels unterschiedliche Polarisationsänderungen bewirken, so daß im räumlichen Mittel keine Vorzugsrichtung der Polarisation mehr existiert.

Aus der Literatur sind verschiedene Pseudo-Depolarisatoren bekannt:

Der Hanle-Depolarisator, verbunden mit einem Kompensationskeil, wird z. B. von der Firma Bernhard Halle Nachfolger GmbH als optisches Experimentalelement angeboten.

Die DD 2 81 011 A1 beschreibt einen Depolarisator aus einem linear doppelbrechenden Keil und einem zirkular doppelbrechenden zweiten Keil zur Anwendung im UV-Gebiet für Meßgeräte (Spektrographen).

In Fuyun Xu, SPIE Vol. 1752 (1992), 307-310 sind verschiedene Quarz-Depolarisatoren einschließlich einer Anordnung von zwei Keilen mit gekreuzten optischen Achsen beschrieben.

Maßnahmen zur Überlagerung der bei diesen Elementen entstehenden Polarisationsverteilung – geometrisch nebeneinander alle Polarisationsrichtungen – sind jeweils nicht angeben, es wird wohl davon ausgegangen, daß bei den Meßgeräten ein flächenhafter Detektor eine Integration bewirkt.

Bei der Mikrolithographie ist die Verwendung von unpolarisiertem Licht vorteilhaft, um eine richtungsunabhängige Strukturübertragung zu erreichen. Bei Mikrolithographiesystemen mit Wellenlängen unter 300 nm werden als Lichtquellen jedoch vorzugsweise linear polarisierte Excimer-Laser eingesetzt. Diese sind für die Wellenlängen 248 nm, 193 nm und 157 nm verfügbar.

Zur Erzeugung von Licht ohne Polarisationsvorzugsrichtung ist die Verwendung einer  $\lambda/4$ -Platte bekannt, die zirkular polarisiertes Licht erzeugt. Die Anforderungen an die Verzögerungstoleranz sind dabei sehr eng; beispielsweise verursacht ein Verzögerungsfehler von  $\lambda/100$  noch eine Restpolarisation von 6%. Die Herstellung von Verzögerungsplatten mit solch engen Toleranzen ist bei den kurzen Wellenlängen aufwendig und dementsprechend kostspielig. Zudem kann die enge Toleranz nur über einen kleinen Temperaturbereich eingehalten werden.

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist die technisch einfache und kostengünstige Erzeugung von Licht ohne Polarisationsvorzugsrichtung in der Bildebene von Beleuchtungssystemen der Mikrolithographie nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, bzw. von Projektionsbelichtungsanlagen nach dem Oberbegriff von Anspruch 7. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Es wird also an Stelle einer Verzögerungsplatte mit sehr engen Toleranzen ein Verzögerungselement mit lokal definiert unterschiedlichen Verzögerungen verwendet (Pseudo-Depolarisator) und durch lichtmischende Komponenten der nachfolgenden Optik im ganzen ausgeleuchteten Feld gleichmäßig unpolarisiertes Licht erzeugt. Die Variation der Dicke kann dabei über ein belie-

biges, auch nicht ganzzahliges, Vielfaches der Emissionswellenlänge erfolgen. Die Erzeugung von unpolarisiertem Licht hat den weiteren Vorteil gegenüber zirkular polarisiertem Licht, daß im System nachfolgende, unbeabsichtigt polarisationsändernde Komponenten keine Rückwandlung des Polarisationszustands in ungünstiges elliptisch polarisiertes Licht verursachen können. Dies gilt im besonderen wieder bei sehr kurzen Wellenlängen.

Die Unteransprüche 2 bis 6 geben vorteilhafte Weiterbildungen an. Nach den Ansprüchen 2 und 3 ist das depolarisierende Element ein Keil, insbesondere ein Hanle-Depolarisator. Alternativ könnte z. B. auch eine Linse aus doppelbrechendem Material eingesetzt werden. In der Praxis wichtig ist die Maßnahme nach Anspruch 4, womit insbesondere ein Abknicken der optischen Achse und damit Komplikationen im Fassungs Aufbau vermieden werden.

Anspruch 5 ist besonders in Verbindung mit Anspruch 4 optimal, da die refraktive Kompensation mit gesteigerter Depolarisation verbunden wird.

Anspruch 6 sieht zwei Lichtmischsysteme an zwei zueinander optisch konjugierten Ebenen vor und stellt so die Durchmischung und Depolarisation an jeder Stelle im weiteren Strahlengang sicher.

Die erfindungsgemäße Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 7 hat ein Beleuchtungssystem mit Depolarisator nach einem der vorangehenden Ansprüche. Ansprüche 8 und 9 geben die bevorzugt damit zu kombinierenden Objekttypen – rein refraktiv bzw. katadioptrisch – an.

Beispiele für diese Objekttypen finden sich in US 5,260,832, DE 196 39 586 und US 5,691,802.

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnungen.

Im folgenden zeigen schematisch:

Fig. 1 eine schwach keilförmige Verzögerungsplatte als Depolarisator im Laserstrahl mit nachfolgender Lichtmischung durch eine Vielzahl nebeneinander angeordneter kleiner Linsenelemente;

Fig. 2 eine andere Ausführung des Verzögerungselements als Doppelkeil-Depolarisator;

Fig. 3 einen Einfachkeil-Depolarisator mit nachfolgender Lichtmischung durch zwei, jeweils eine Vielzahl nebeneinander angeordneter kleiner Linsenelemente enthaltende, Lichtmischelemente in zwei optisch konjugierten Ebenen zur Erzeugung von unpolarisiertem Licht an beliebigen Orten im optischen System;

Fig. 4 eine erfindungsgemäße Projektionsbelichtungsanlage.

Zu Fig. 1:

Der hier verwendete Pseudo-Depolarisator DP besteht aus einer Quarzplatte oder anderem doppelbrechendem Material und besitzt die Form eines flachen Keils. Der Kristall ist so geschnitten, daß Licht, das den Keil durchdringt, eine doppelbrechende Wirkung erfährt. Die optischen Achsen sind unter  $45^\circ$  zur Polarisationsrichtung des Lichts orientiert.

Das austretende Lichtbündel besitzt dann einen entlang der Keilrichtung sich stetig ändernden Polarisationszustand, der von linear polarisiert über zirkular polarisiert in um  $90^\circ$  gedreht linear polarisiert und entgegengesetzt zirkular polarisiert übergeht, und so weiter. Die lokal unterschiedlichen Polarisationszustände werden durch die nachfolgende "Fly's-eye"-Linse FL1 und die dahinter befindliche Sammellinse L1 in der hinteren Brennebene F von L1 vollständig überlagert.

Die Steigung des Keils ist vorzugsweise so zu wählen, daß über die Länge des Keils mehrere Ordnungen an optischer Verzögerung erreicht werden. Dann ist die Depolarisationswirkung nur noch gering von der Größe (Durchmesser) des Lichtbündels abhängig. Eine optimale Wirkung wird er-

reicht, wenn die Größe des Lichtbündels gerade einem Vielfachen der Strecke auf der Keilplatte entspricht, über die sich die Verzögerung um eine Wellenlänge ändert. Das Licht ist in diesem Fall an jedem Ort in der Ebene F' vollständig depolarisiert. Der maximal auftretende Restpolarisationsgrad nimmt mit zunehmender Anzahl von Verzögerungsordnungen rasch ab. Beträgt die Verzögerungsänderung über die Größe des Lichtbündels beispielsweise mehr als 4 Wellenlängen, so ist der maximal vorkommende Restpolarisationsgrad <4%, unabhängig von der genauen Größe des Lichtbündels.

Ein im Strahlengang auf den Keildepolarisator folgender Keil AK aus geeignetem, optisch homogenem transmittivem Material dient zum Ausgleich der Ablenkung des Lichtbündels durch die Brechung am Keilwinkel des Depolarisators DP. Der Keilwinkel des Ausgleichskeils AK ist so zu wählen, daß unter Berücksichtigung des mittleren Brechungsindexunterschieds beider Materialien die Ablenkung des Depolarisators DP gerade kompensiert wird.

Der Keil ist die einfachste Form eines optischen Elements mit unterschiedlicher Dicke. Andere Formen, z. B. Stufenformen oder Linsenformen, sind jedoch grundsätzlich auch geeignet.

Die gewünschte Depolarisation wird durch die erfindungsgemäß kombinierte Überlagerung der räumlich getrennten unterschiedlichen Polarisationszustände erreicht.

Statt des Einfachkeil-Pseudo-Depolarisators können auch andere Ausführungen von Pseudo-Depolarisatoren eingesetzt werden, wie sie z. B. aus DD 2 81 011 A1 oder Fuyun Xu, am angegebenen Ort, bekannt sind. Besonders vorteilhaft ist die Verwendung eines Doppelkeil-Pseudo-Depolarisators. Bei diesem erfolgt im Mittel keine Lichtablenkung durch Brechung und die Anzahl der Verzögerungsordnungen verdoppelt sich.

Fig. 2 zeigt schematisch die Orientierung von Lichtrichtung L, Polarisationsrichtung Pol und optischen Achsen  $n_o$ ,  $n_e$  der doppelbrechenden Keilplatten DP1, DP2. Fig. 2b zeigt den Strahlengang in Seitenansicht.

Zu Fig. 3:

Durch den in Fig. 1 bereits geschilderten Teil DK, AK, FL1, L1 wird nur in der hinteren Brennebene F der Sammellinse L1 optimale Depolarisation erreicht. Durch Einbringen einer zweiten "Fly's-eye"-Linse FL2 in die Ebene F' und einer Sammellinse L2 im Abstand ihrer Brennweite F2 dahinter, läßt sich auch für die zu F' konjugierte Ebene F'' optimale Depolarisation erreichen, und damit auch in jeder anderen Ebene des Systems.

Statt der "Fly's-eye"-Linse FL1, FL2 und der Sammellinse L1, L2 können auch andere lichtmischende Systeme eingesetzt werden (z. B. Glasstab).

Die "Fly's-eye"-Linsen FL1 und FL2 können als Rasterlinsen oder Wabenlinsen in bekannter Weise diskret aufgebaut werden, vgl. EP 0 401 608 B1 (89022 P), oder auch als Wabenplatten mit Mikrostrukturtechnik, auch als binäre Optik, Fresnel-Array usw. ausgebildet werden. Als Wabenkondensoren sind derartige Bauteile in Beleuchtungssystemen der Mikrolithographie gebräuchlich.

Sinnvoller Ort für den Pseudo-Depolarisator ist sicherlich am Anfang des optischen Systems im kollimierten aber schon aufgeweiteten Laserstrahl, damit alle Komponenten von der Depolarisation profitieren. Es wäre aber auch möglich, den Pseudo-Depolarisator an irgendeine andere Stelle, z. B. vor den Glasstab zu setzen. Dahinter muß noch eine vollständige Lichtmischung erfolgen.

Fig. 4 zeigt dazu ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Projektionsbelichtungsanlage.

B ist das Beleuchtungssystem, enthaltend:

- einen Excimer-Laser 1, für 248 nm, 193 nm oder 157 nm, enthaltend in der Regel Mittel zur Einengung der Bandbreite wie Injection-locking, Etalon, Gitter;
- ein Strahlaufweitungssystem, das aus dem schmalen Rechteckquerschnitt eine breitere, quadratische oder optimal runde Form erzeugt, z. B. mit einem zugleich kohärenzreduzierenden Spiegelkasten nach EP 0 401 608 B1 (89022 P) oder einem Teleskopsystem anamorphotischer Bauart, bzw. mit Kombinationen davon;
- ein Pseudo-Depolarisator 3 mit zwei Keilplatten DP1 und DP2, Rasterlinsenplatte FL1 und Sammellinse L1 gemäß obenstehender Beschreibung Fig. 1 bis 3;
- optional eine Zoom-Axicon-Gruppe, wie aus EP 0 747 772 A (95023 P) bekannt, zur Einstellung der Beleuchtungsart;
- ein Glasstab 5 als Lichtmischelement, auch in der zu Fig. 3 beschriebenen Funktion;
- ein Retikel-Maskier-System (REMA) 6, eine verstellbare Blende zur Festlegung des auf der Maske (Retikel, 8) ausgeleuchteten Bereichs (Scanschlitz oder bei Steppern einzelner Chip oder dergleichen);
- ein REMA-Objektiv 7 (vgl. DE 196 53 983 A (96033 P) welches das Retikel-Maskier-System 6 scharf auf die Maske 8 abbildet und für homogene telezentrische Beleuchtung sorgt;
- bedarfsweise nicht dargestellte Blenden, Verlaufsfilter, diffraktive optische Elemente und dergleichen, im Bereich der Baugruppen 1 bis 7, z. B. zur Einstellung von Quadrupol-Beleuchtung, Uniformity-Korrektur usw. .

Weiter enthält die Projektionsbelichtungsanlage:

- die Maske 8 (Retikel) mit der abzubildenden Struktur auf einem Haltesystem 81 zur Positionierung und Verschiebung im Step-and-Repeat oder Scanning-Verfahren;
- das Projektionsobjektiv 9, hier schematisch dargestellt als katadioptrisches Reduktionsobjektiv coaxialer Bauart nach DE 196 39 586 A (96034 P)
- das Objekt (Wafer) 10, das strukturiert belichtet wird, auf einem Objektisch (Wafer-chuck) 11, der ähnlich dem Haltesystem 81 zur genauen Positionierung (Autofokus usw.) und zur Verschiebung in Step-and-Repeat oder Scanning dient.
- Die ganze Anlage wird von einem Rechnersystem 20 in bekannter Weise gesteuert und geregelt, in Anpassung an die Strukturen und Eigenschaften der jeweils abzubildenden Maske 8.

Natürlich kann dieser beispielhafte Aufbau einer Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie in vielfältiger Weise abgewandelt werden. Erfindungsgemäßes Kernstück ist immer mindestens ein doppelbrechendes optisches Element mit über den Querschnitt variierender Dicke mit nachgeordnetem Mischelement.

Dabei hat der Hanle-Depolarisator den Vorteil, bei einfacher Form auch sehr kurz in Lichtrichtung zu sein, im Unterschied etwa zum auch brauchbaren Cornu-Depolarisator.

#### Patentansprüche

1. Beleuchtungssystem der Mikrolithographie mit
  - einem Excimer-Laser (1) mit einer Emissionswellenlänge
  - einem Strahlaufweitungssystem (2)

- einem Lichtmischsystem (5)
- einer Beleuchtungsebene
- dadurch gekennzeichnet, daß**
  - ein optisches Element (DP) aus doppelbrechen-
  - dem Material in einem Lichtbündelquerschnitt an- 5
  - geordnet ist (z. B. Hanle-Depolarisator),
  - daß dessen Dicke über den Lichtbündelquer-
  - schnitt um ein Vielfaches der Emissionswellen-
  - länge variiert
  - und dem optischen Element mindestens ein 10
  - Lichtmischsystem (A1, L1, 5) nachgeordnet ist.
- 2. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch ge-
- kennzeichnet, daß das optische Element (DP) ein Keil
- ist.
- 3. Beleuchtungssystem nach Anspruch 2, dadurch ge- 15
- kennzeichnet, daß das optische Element (DP) ein
- Hanle-Depolarisator ist.
- 4. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche
- 1–3, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweites opti-
- sches Element (DP, AK) die mittlere refraktive Wir- 20
- kung des optischen Elements aus doppelbrechendem
- Material aufhebt.
- 5. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der
- Ansprüche 1–4, dadurch gekennzeichnet, daß ein wei-
- teres optisches Element (DP2) aus doppelbrechendem 25
- Material mit zirkularer Doppelbrechung oder gegen
- das erste optische Element (DP1) gedrehter Achse der
- Doppelbrechung vorgesehen ist.
- 6. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der
- Ansprüche 1–5, dadurch gekennzeichnet, daß je ein 30
- Lichtmischsystem (FL1, L1, FL2, L2, 5) in zwei zuein-
- ander konjugierten Ebenen angeordnet sind, insbeson-
- dere in einer zu der Beleuchtungsebene äquivalenten
- und in einer dazu konjugierten Ebene.
- 7. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithogra- 35
- phie mit
  - einem Beleuchtungssystem (B)
  - einer Maske (8) auf einem Haltesystem (81)
  - einem Projektionsobjektiv (9)
  - einem Belichtungsobjekt (10) auf einem Trä- 40
  - gersystem (11)
  - einem Steuer- und Regelsystem (20) dadurch
  - gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem (B)
  - nach mindestens einem der Ansprüche 1–6 ausge- 45
  - führt ist.
- 8. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithogra-
- phie nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß
- das Projektionsobjektiv refraktiv ist.
- 9. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithogra-
- phie nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß 50
- das Projektionsobjektiv (9) katadioptrisch ist, insbe-
- sondere von achssymmetrischer Bauart mit zentraler
- Abschattung oder vom Typ des abgewandelten Schup-
- mann-Achromaten.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65

- Leerseite -

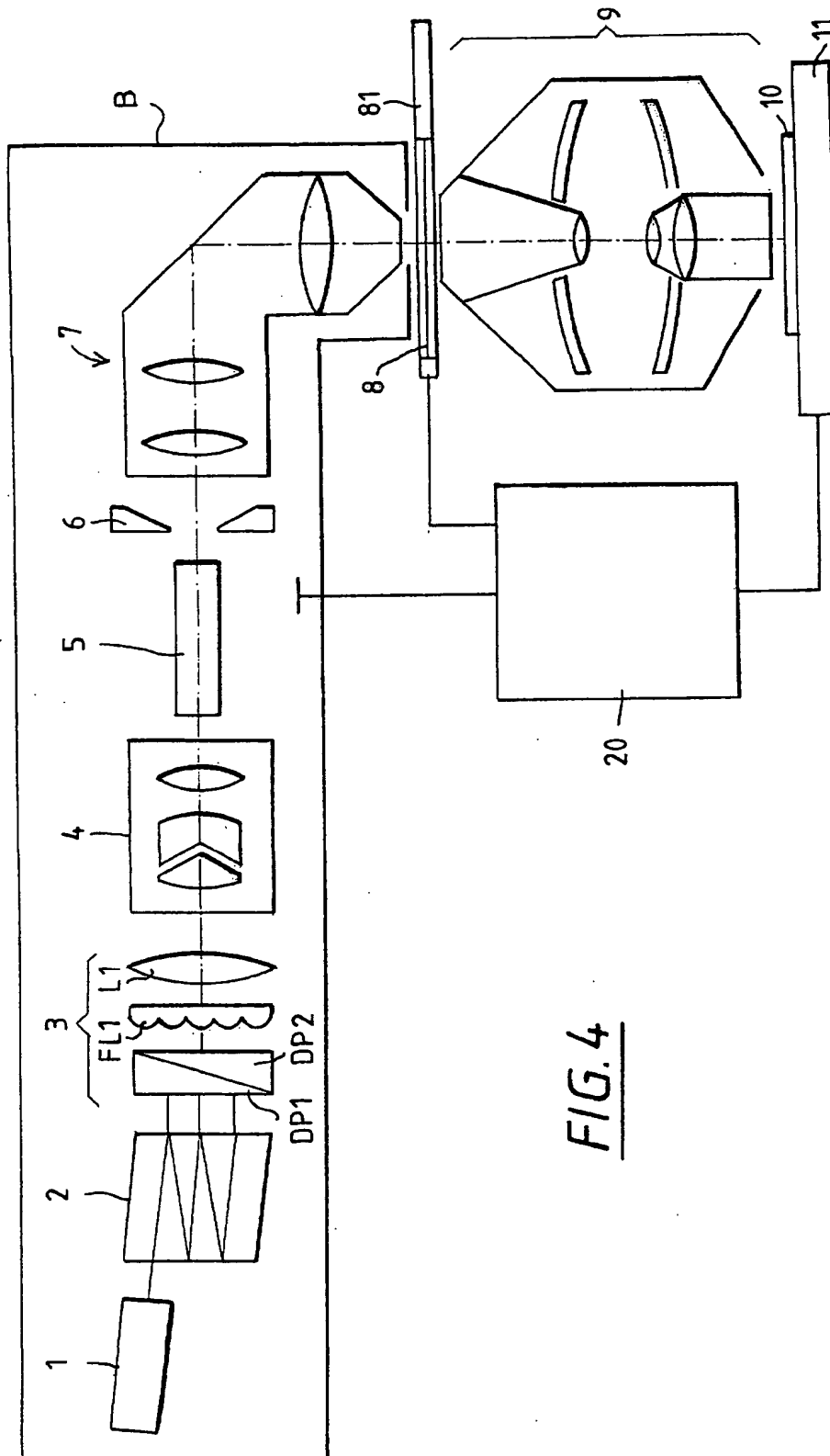


FIG. 4

FIG. 1

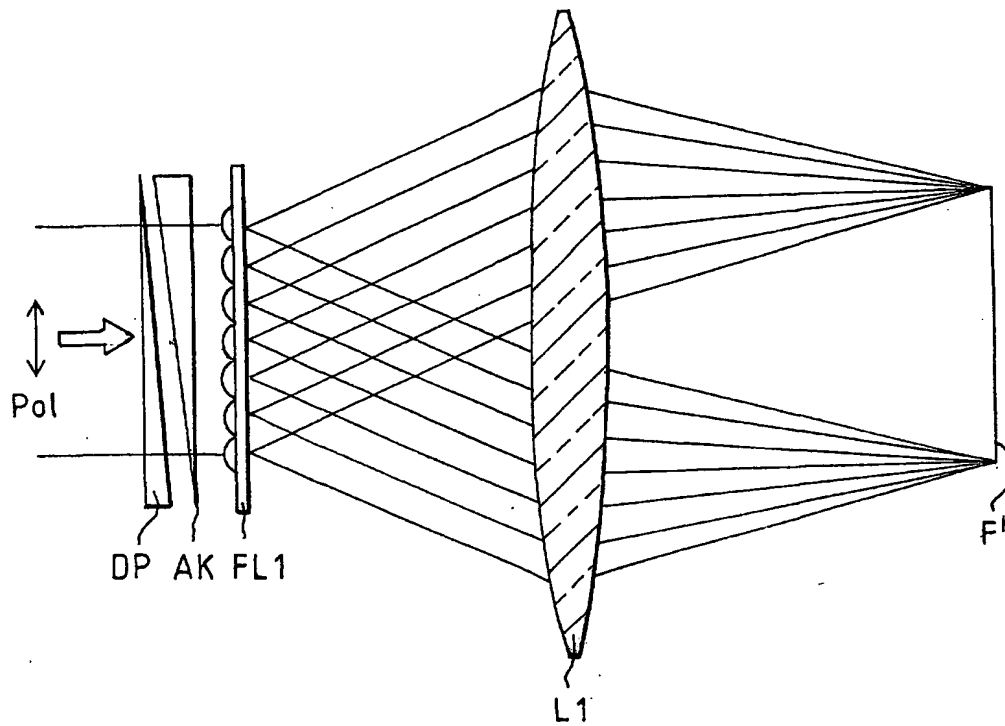


FIG. 2a

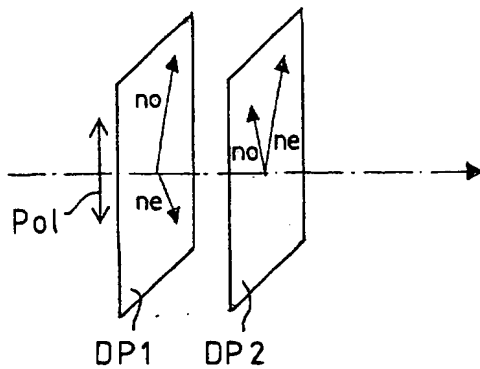


FIG. 2b

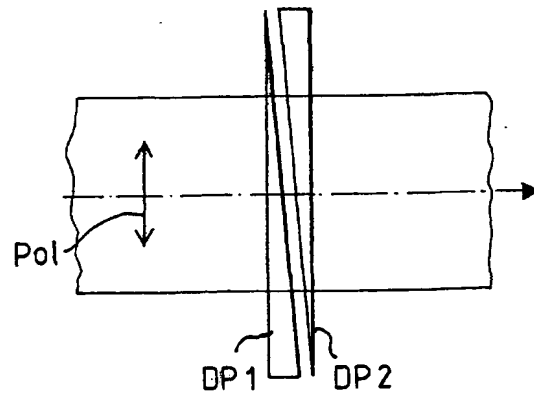




FIG. 3

